

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

GRADO EN INGENIERÍA TELEMÁTICA



***ANÁLISIS DEL ESPECTRO DE TRANSMISIÓN
DE DISPOSITIVOS 802.11 COMERCIALES***

TRABAJO FIN DE GRADO

Autor: GUILLERMO FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ
Tutor: PABLO SERRANO YÁÑEZ-MINGOT
Co-Director: CARLOS JESÚS BERNARDOS CANO

JUNIO DE 2012

Dedicatoria

A mi novia Rocío, a mis padres, a mis hermanos y a mis sobrinos Ángela y Hugo.

Agradecimientos

Primeramente, quiero dirigir estas palabras, ya que se merece todos mis reconocimientos, a mi novia Rocío. Ella ha sido la persona que día a día ha sentido junto a mí los buenos y malos momentos, los aprobados, los suspensos, horas de estudio, días en la biblioteca, el casi no vernos, el no compartir vacaciones y por tantas otras cosas por las que has pasado... muchísimas gracias.

Antes del desarrollo de mi trabajo fin de Grado, me gustaría agradecer el apoyo que durante todo este tiempo me ha ofrecido el resto de la gente que me rodea y que han hecho que hoy me encuentre aquí.

En especial, quería darles las gracias a mis padres, hermanos y toda mi familia política, los cuales han estado a mi lado ayudándome en todo lo que han podido.

También me gustaría recordar a todos mis compañeros de carrera, pero al ser tantos y para evitar algún desquite, prefiero pasar a citar grandes momentos:

"Dos galletas y una pasti"; "Vamonos ¿no?"; "Insurance?, No no Vodafone"; "Sí, twenty en cada pata"; "Déjame a mí, the ultim?"; "Barbosa vs Taiga"; "Pero tú y yo, ¿qué somos?"; "Ikea, El Quinqui, Jesucristo, el Trucha...; "Un telemático y veinte sistemáticos en clase de ópticos"; "Le pega más Zeus que Bolita"; "Alvaruuuuu"; "Un retorno de fiestas+chistes+paisajes+Starbucks+CEI+... Whats else? Ah sí, un Nespresso por favor...."; "¿Vale, vale, vale? El tercero anula los dos anteriores"; "Guille, ¿me puedo comer tú plátano?"; "Unos fotocopian, otros esperan al pintor, otros practican, otros con los tokens..."; "Fuimos siete, decían que volvimos ocho, un intento de rotura de persiana, dos manguitos y un cubo, fontanería, un maletero que olía a Jean Paul Gaultier, playa de arena fina...¿lo contamos Alvaro?"; "Tus amigos los pi-jos"; "Tercer anfiteatro, junto a las escaleras derechas"; "Han abierto las puertas del sótano"; "La wapa, la amiga de la wapa, la pelo pantene, la ojos, la morena de adidas, la compañera de Bety..."; "El culín"; "Cuando Guille dice que estudia, miedito me da"; "Los conguitos para las campanadas"; "Tíoouo, yo te lo digo, tienes un avatar por novia"; "¿Papá papá, la luz se traga?"; "Que viene el niño rata, si te estas quieto no nos ve"

Por último, también me gustaría agradecer al departamento de Teoría de la Señal de la Universidad Carlos III, por dejarnos utilizar su cámara anecoica para realizar parte de este proyecto, en especial a José Luís Vázquez Roy.

Resumen

A lo largo de estos últimos años está aumentando la demanda de redes inalámbricas por parte de los usuarios, debido en parte a la facilidad de movilidad que permiten. Dentro de la gama de redes inalámbricas, están las denominadas *WLAN*, las cuales se están implantando en lugares de uso cotidiano. La proliferación de dichas redes es cada vez mayor, lo que implica que empiezan a existir zonas de alta densidad. Uno de los motivos principales de dicha proliferación, puede ser el bajo coste de los equipos, la facilidad de instalación y mantenimiento, así como la utilización de bandas del espectro no licenciadas. También dicha proliferación se debe a que el número mayor de equipos proporciona más ancho de banda.

Al aumentar el número de redes y por lo tanto el tráfico de red de usuario, empieza a surgir la necesidad de nuevas capacidades que puedan atender los nuevos volúmenes de tráfico. Junto a esto último, también aparecen otras necesidades de tener que configurar estas nuevas redes incluso que presentan problemas como pueden ser la selección de qué punto de acceso es el más óptimo utilizar, como gestionar la movilidad de usuarios entre los diferentes puntos de acceso... Pero no sólo existen problemas a nivel gestión de usuarios, sino que la gran densidad de puntos de acceso implica tener que hacer un buen ajuste en el control de potencias para que exista la menor interferencia posible. Por otra parte, también existe la necesidad de hacer un uso eficiente del espectro radioeléctrico, lo que conlleva tener que reutilizar frecuencias en zonas muy densas.

Un primer paso de cara a conseguir desplegar redes *WLAN* densas es estudiar el comportamiento de los equipos disponibles. En este trabajo fin de Grado se ha de estudiar en concreto la máscara de transmisión para analizar el espectro radioeléctrico y también se estudiará la relación entre la potencia configurada y la potencia real transmitida. Lo que se pretende conseguir con el presente trabajo es ver la viabilidad de los esquemas de ajuste de potencias existentes y nuevos que puedan surgir.

En el desarrollo del presente trabajo se estudiarán *dispositivos IEEE 802.11*. En concreto se analizarán el *Linksys WRT54GL* y el *Asus WL-500g Premium*.

Abstract

Over the last years, the demand of users who use wireless networks that lets them to move between diferents geography places is increasing. Within the range of networks, there are ones called WLAN, which are being implemented in everyday places. The proliferation of these networks is growing so much that high density areas are about to exist. One of the main reasons of that proliferation could be the low cost of the equipments, the easy-way installation or maintenance, or the uses of the unlicensed spectrum bands.

Increasing the number of networks and because of that, the user network traffic, it begins to emerge the need of new capacities that could serve the new traffic volume. Along this, some other needs appear like configurating these new networks or even some problems as what the most optimal access point is, or how to manage the users roaming among access points... Not only managed problems may appear, but the high access point density means doing a good power control as well in order to reduce the interference the most as posible. On the other hand, also a radioelectric spectrum efficient use is needed, that means reusing some frequencies in places where the density is very high.

What is intended to achieve with this work is to test the viability of the existing ajustement schemes and the new ones which could appear. For this, a mask transmission study will be done for analysing the radiofrequency spectrum and the adapted power-real transmitted power ratio.

Índice general

Dedicatoria	III
Agradecimientos	V
Resumen	VII
Abstract	IX
Índice general	XI
Índice de figuras	XIII
Índice de cuadros	XV
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Estudios previos	1
1.3. Objetivos	3
1.4. Estructura de la memoria	3
2. Metodología	5
2.1. Introducción	5
2.2. Equipos a caracterizar	6
2.3. Analizador de espectro radioeléctrico	7
2.4. Entornos de medida	10
2.4.1. Laboratorio	10
2.4.2. Cámara anecoica	12
2.4.3. Balance del enlace	14
3. Máscara de emisión	17
3.1. Linksys con driver iw	18
3.2. Linksys con driver b43	19
3.3. Asus con driver ath5k banda de 2,4 Ghz	20
3.4. Asus con driver ath5k banda de 5Ghz	20
4. Configuración de la potencia de transmisión potencias	23

4.1. Linksys con driver iw	23
4.2. Linksys con driver b43	24
4.3. Asus con driver ath5k en banda de 2,4GHz	24
4.4. Asus con driver ath5k en banda de 5 GHz	25
4.5. Resumen de resultados	26
5. Conclusiones y líneas de trabajo futuras.	27
A. Planificación de tareas y presupuesto	29
A.1. Introducción	29
A.2. Descomposición en tareas	29
A.3. Planificación detallada con el diagrama de fases	34
A.4. Recursos	34
A.5. Presupuesto de Proyecto	35
Bibliografía	37

Índice de figuras

2.1. Analizador de espectro EXA Signal Analyzer N9010A.	7
2.2. Filtros de entrada analizador.	8
2.3. Traza en media y traza pico máximo.	9
2.4. Interferencias en bandas de 2,4GHz y 5GHz, canal 1 y 40 respectivamente	11
2.5. Actividad en los canal 1 y 40 de las bandas de 2,4GHz y 5GHz respectivamente	11
2.6. Típica cámara anecoica según [11].	12
2.7. Cámara anecoica	14
3.1. Niveles de espectro máximo y mínimo del Linksys con driver iw.	19
3.2. Niveles de espectro máximo y mínimo del Linksys con driver b43	19
3.3. Niveles de espectro máximo y mínimo del Asus con driver ath5k	20
3.4. Niveles de espectro máximo y mínimo del Asus con driver ath5k	21
4.1. Respuesta Linksys con driver iw en banda de 2,4GHz.	24
4.2. Respuesta Linksys con driver b43 en banda de 2,4GHz.	24
4.3. Respuesta Asus con driver ath5k en banda de 2,4GHz.	25
4.4. Respuesta Asus con driver ath5k en banda 5GHz.	25
A.1. Diagrama de Gantt	34

Índice de cuadros

2.1. Relación de dispositivos y características.	6
2.2. Parámetros analizador de espectro.	10
2.3. Longitudes de las antenas. Parámetro D en la ecuación 2.1.	13
2.4. Longitudes de ondas de las señales.	13
2.5. Aproximaciones de campos lejanos.	13
2.6. Estimación de K	15
4.1. Relación de dispositivos y características.	26
5.1. Fallos de configuración en los cambios de potencia en los <i>Linksys - driver iw</i>	28
A.1. Resumen descomposición en tareas	33
A.2. Presupuesto con amortización	35

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Debido a la gran proliferación de las redes WLAN, las cuales conllevan tener que poner más puntos de accesos, lo que origina la aparición de redes muy densas, es necesario tener que trabajar en ellas en lo referente a:

- Ajustes de potencias.
- Reutilización de frecuencias.

La motivación del presente trabajo viene dado por la proliferación de las redes, lo que hace falta que se tenga que trabajar en aspectos de control de potencias y reutilización de frecuencias en redes densas, en especial en el uso de los equipos comerciales *IEEE 802.11 a/b/g*.

1.2. Estudios previos

Hasta el momento diferentes grupos de trabajo están realizando estudios sobre qué algoritmo es más eficiente a nivel de control de radiación de potencia en redes *WLAN*. Por ejemplo, *Ramanathan y Rosales-Hain* [1], presentaron un algoritmo que se basa en establecer una potencia mediante negociación, y una vez establecida, se mantiene fija para todas las transmisiones y no se cambia hasta que exista un cambio en la topología de la red. *Kawadia y Kumar* [2], desarrollaron un algoritmo que se basa en encontrar una potencia común para todos los nodos. También el estudio de *Iannone y Fdida* [3] proponía nuevos mecanismos con la introducción de parámetros de calidad del enlace en el framework y hacer un control dinámico en el enrutamiento.

Todos estos algoritmos tienen en común que son estudios teóricos, por ello *Fehmi Ben Abdesslem et al.* [4] de la Universidad de Paris IV, realizaron una estudio para

buscar posibles respuestas en el hardware y software. Este se podría considerar que de entre todos los estudios mencionados hasta el momento, no busca una solución al problema a niveles teóricos, sino más bien a niveles prácticos. Dicho trabajo consistió en realizar mediciones de RSSI [5] de extremo a extremo utilizando un específico hardware y software dispositivos *IEEE 802.11 a/b/g*. Los equipos utilizados eran modelos de *D-Link*, *Netgear*, *Cisco* y *3COM*, todos ellos con tarjeta inalámbrica *Atheros* y driver *Madwifi*, excepto uno de los equipos *Cisco* que utilizaba el driver propietario. Se obtuvieron varios resultados y conclusiones que decían que los dispositivos presentaban respuesta no lineales ante cambios lineales de potencia y que el hardware y drivers no eran lo suficientemente sofisticados. También hay que indicar que los resultados que se extrajeron podían estar sesgados, debido a que no existe un control exhaustivo de lo que sucede en el enlace radio entre emisor-receptor. A esto último también le podemos añadir que tampoco existe una herramienta medidora externa a las del propio fabricante y que los resultados de RSSI [5] no son fiables.

Otras líneas de investigación relacionadas con redes inalámbricas *WLAN* también han encontrado problemas muy parecidos en transmisión con dispositivos *IEEE 802.11* comerciales. Por ejemplo, Investigadores de la Universidad Carlos III de Madrid en un estudio realizado sobre redes multisalto [6], encontraron la problemática que al realizar pruebas de eficiencia del ancho de banda ante cambios de potencia también en transmisión, existían desvanecimiento a 7 dBms, emitiendo en los canales 1 y 11 del estándar [7] y de forma aislada sin que otras comunicaciones les interfiriesen. No sólo encontraron esos problemas, sino que también observaron que transmitiendo al mismo tiempo en canales no solapados, la eficiencia de transmisión en los distintos enlaces se reducía prácticamente a la mitad aun sin existir interferencia del canal adyacente.

Este último estudio nos lleva a que no sólo se debe atender a los niveles de potencia, sino que también al ancho de banda que ocupa cada canal en el espectro y si cumple la normativa referente a las máscaras de transmisión. Otro dato importante y que también tiene en común con el estudio realizado por la *Universidad de París IV* [4], en ambos, los resultados con los que se concluyen toman siempre como referencia los valores de RSSI [5].

Por otra parte y en relación a conformación del espectro de transmisión a la máscara, también existen otros estudios realizados como es el de los científicos de la *Universidad de Wisconsin* [8]: Dicho estudio trata sobre el solapamiento entre canales adyacentes y dice que aunque exista un cierto solape entre dichos canales no afecta demasiado.

Por todo lo explicado anteriormente, el presente trabajo tendrá en consideración todos los resultados de los estudios anteriores. Como último apunte, este trabajo, todas las pruebas se realizaron bajo un entorno controlado y no se tuvo en consideración los valores de RSSI [5] que presentan los equipos en recepción, pero como alternativa, se utilizó un analizador de espectro.

1.3. Objetivos

El objetivo de este trabajo es el estudio de:

- Máscara de transmisión: Comprobar si el espectro de emisión de los equipos de adecuan correctamente al estándar [7] .
- Potencia de transmisión: Comprobar si los niveles de potencia con los que emiten los equipos son realmente los configuran.

Para ello será preciso tener que:

- Configurar equipos para las pruebas.
- Usar analizador de espectro.
- Diseñar una metodología de pruebas para la obtención de datos.

1.4. Estructura de la memoria

La presente memoria se compone de varios capítulos como se detallan a continuación:

1. **Capítulo 1:** Introducción. Se presentan la motivación, los estudios previos, los objetivos del trabajo realizado, así como de la estructura de esta memoria.
2. **Capítulo 2:** Metodología. Se describen los equipos a caracterizar, el analizador de espectro radioeléctrico y los diferentes entornos de medidas.
3. **Capítulo 3:** Máscara de emisión. Se divide en varias secciones en las que se presentan los datos del estudio de la máscara de forma independiente por cada equipo a caracterizar.
4. **Capítulo 4:** Configuración de las potencias de transmisión. Se divide en varias secciones en las que se presentan los datos del estudio de la potencia de forma independiente por cada equipo a caracterizar y un resumen de los resultados más relevantes.
5. **Capítulo 5:** Conclusiones y líneas de trabajo futuro.
6. **Apéndice.** Esta última parte consta de la planificación y presupuesto del trabajo.

Capítulo 2

Metodología

2.1. Introducción

Las pruebas realizadas para el análisis del espectro consistieron en posicionar dos equipos *WLAN* a una determinada distancia, emitiendo en un canal específico, utilizando los canales 1 y 40 como canales bajos, 11 y 165 como canales en las bandas de 2,4 GHz y 5GHz respectivamente y según el estándar [7]. Para realizar la comunicación entre ellos, uno estaba configurado como cliente y otro como punto de acceso. Para ello, los equipos y todo el soporte necesario como firmware, fabricante y modelo de tarjeta inalámbrica así como su driver, tienen que estar operativos.

La elección de cada equipo a caracterizar, de entre todas las posibles opciones en el mercado, viene justificada porque la dirección del proyecto ya trabajó previamente con los mismos y tienen adquirido en cierto manejo y conocimiento pero otra justificación, como ya se indicó en los estudios previos, es porque en el estudio [6] se realizaron utilizando estos mismos equipos.

El procedimiento que se siguió para realizar las pruebas correspondientes a máscara de transmisión y de potencias, se basa en establecer una conexión entre el cliente y punto de acceso enviando paquetes UDP. El punto de acceso radiaba siempre a la mínima potencia posible, y se iba aumentando la potencia del cliente desde 0dBm hasta el máximo permitido, en intervalos de 1dBm.

Para la captura de las trazas del espectro, se empleó el analizador de espectro *EXA N9010A* de *Agilent Technologies* [9] [10], capaz de mostrar niveles de potencia, ancho de banda que ocupan los datos, adecuación del espectro a su máscara de transmisión...etc

Por otro lado se utilizó *iperf* que es una herramienta software basada en un modelo de comunicación cliente-servidor y que sirve para enviar información de extremo a extremo con protocolos TCP y UDP. La función para la que se utiliza dicha herramienta es la de evaluar canales de transmisión enviando datos según una características preestablecidas por el usuario. En nuestro caso, sirvió para garantizar que existía tráfico de red suficiente en el enlace radio. Una característica importante

de dicha herramienta, es que devuelve un reporte sobre la comunicación realizada, paquetes enviados, porcentajes de pérdidas de paquetes, tasa de transferencia ..., que nos da información de si existe comunicación entre los equipos.

Particularizando nuestro caso, hemos obligado que en todas las pruebas se envié tráfico de red por encima de la capacidad del enlace, para asegurarnos un nivel de ocupación del 100 % y así prever que el espectro radioeléctrico tendrá que llegar a sus límites máximos de ancho de banda y nivel de potencia. La versión empleada de *iperf* fue la 2.0.5.

En las secciones siguientes describen cada uno de los equipos caracterizados y el analizador de espectro empleado para captura de datos, para en última instancia pasar a detallar los entornos de medidas.

2.2. Equipos a caracterizar

Debido a que el objeto del proyecto es el estudio de equipos *comerciales IEEE 802.11*, se han seleccionado dos modelos de fabricantes conocidos, *Linksys* y *Asus*, los cuales están presentes en el mercado al alcance de cualquier usuario y presentes en alguno de los citados estudios previos.

Los modelos concretos son el *Linksys WRT54GL v1.1* y el *Asus WL-500gP*. El principal componente que nos interesa son sus tarjetas inalámbricas, que respectivamente en ambos casos son del fabricante *Broadcom*. Para tener un mayor campo de estudio y poder compararnos con algunos de los estudios previos, se decide cambiar la tarjeta inalámbrica a los equipos *Asus* por otra del fabricante *Atheros Alfa Networks AWPCI085S*, ya que existía la posibilidad de hacerlo al ser de tipo mini PCI. Por contrapartida, los dispositivos *Linksys* no se puede efectuar dicho cambio debido a que viene integrada en la placa base.

Para la puesta en funcionamiento de estos equipos, se necesita que corran en ellos un determinado firmware. Para nuestro caso se ha seleccionado la distribución de Linux denominada *OpenWRT*. Es un sistema bajo licencia del tipo GPL, permitiendo la selección de paquetes necesarios para particularizar el sistema. Dentro de la gama disponible de *OpenWRT*, a su vez se ha elegido *Backfire 10.03.1-RC6*.

Otro factor importante y que es muy corrector en este trabajo, es saber qué efectos tienen los drivers sobre la señal conjuntamente con la tarjeta inalámbrica, ya sea a nivel de potencia o máscara de transmisión. Para ello, se han puesto a prueba diferentes tipos en distintos dispositivos, cada uno compatible con el chipset del hardware inalámbrico. Los drivers seleccionados son los siguientes:

Dispositivo	Tarjeta Inalámbrica	Driver	kernel	Banda
WRT54GL v1.1	Broadcom (propietaria)	Iw	2.4	2,4 GHz
WRT54GL v1.1	Broadcom (propietaria)	B43	2.6	2,4 GHz
WL-500gP	Atheros (AWPCI085S)	Ath5k	2.6	2,4GHz y 5 GHz

Cuadro 2.1: Relación de dispositivos y características.

- Linksys: Iw y b43.
- Asus: Ath5k.

El driver preconfigurado en los dispositivos *Linksys* bajo la distribución del firmware *OpenWRT Backfire 10.03.1-RC6*, kernel versión 2.4, es el driver *iw* para tarjetas inalámbricas *Broadcom*. Dicho driver no soporta versiones superiores de kernel como puede ser la 2.6. Por otro lado y también para dispositivos con chipset *Broadcom*, existe el driver denominado *b43*. Este último de libre distribución se considera una evolución del *iw* y se ha empleado también bajo la misma distribución de firmware, pero con versión de kernel 2.6, hay que descargarse el módulo correspondiente e instalarlo. Por último, para los dispositivos *Asus* con tarjeta inalámbrica *Atheros*, se ha seleccionado el driver denominado *ath5k* y funciona bajo la versión 2.6. Al igual que el *b43*, hay que descargarse el paquete correspondiente de la distribución e instalarlo.

La gama de dispositivos seleccionados para realizar los experimentos se muestra el cuadro 2.1.

2.3. Analizador de espectro radioeléctrico

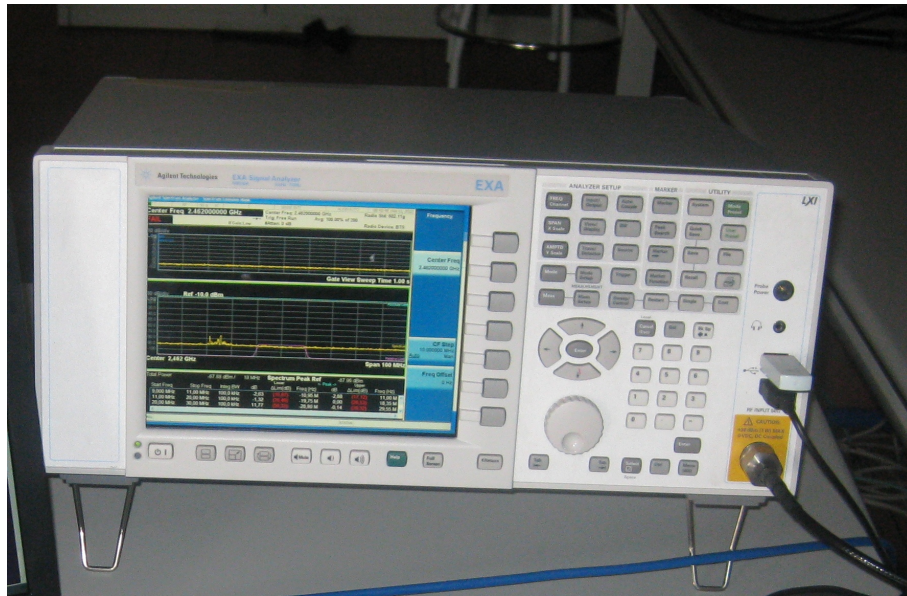


Figura 2.1: Analizador de espectro EXA Signal Analyzer N9010A.

Para realizar el estudio del espectro radioeléctrico se ha empleado el analizador *EXA Signal Analyzer N9010A* de *Agilent Technologies* 2.1. De entre toda la gama de posibilidades que nos ofrece el analizador, sólo hemos hecho uso de la función denominada *Spectrum Mask* [9] y [10]. En ella se nos muestra la forma de la máscara relativa de transmisión según los estándares *IEEE 802.11 a/b/g* [7]. No

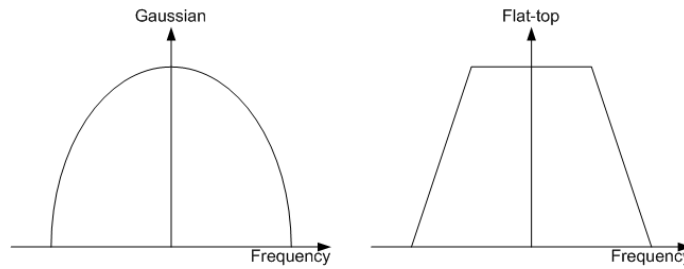


Figura 2.2: Filtros de entrada analizador.

sólo podemos observar dicha máscara, sino que podemos ajustar otros parámetros como atenuadores electrónicos, tiempos de barrido, niveles de máscara, resoluciones de vídeo. Para el conjunto de experimentos que se han realizado, se han seguido las recomendaciones de cómo se deben de capturar los datos del espectro según el estándar [7].

Siguiendo las premisas anteriores, existen otros parámetros configurables que no vienen especificados y que necesitan ser definidos. A continuación se muestra breve explicación y la justificación de por qué su elección:

- *Filtro de entrada*: Permite que en la entrada del analizador sólo existan señales de una determinada frecuencia. Además tiene la función de que la portadora del oscilador local del analizador no se transmita por la antena en sentido inverso y se radie al medio. Para nuestro caso, el analizador tiene dos tipos de filtros denominados *gaussian* y *flat-top*. La diferencia entre ambos principalmente se basa en su forma (figura 2.2).

Funcionalmente el *filtro gaussiano* tarda menos en tiempo en aplicarse que el *flat-top*, debido a que es menos abrupto en los extremos superiores (figura 2.2). Cuando se representa la señal utilizando cada uno de ellos, se observa que no existen diferencias considerables entre ambos, por lo tanto, se decidió optar por el filtro *filtro gaussiano* por reducir el tiempo de obtención de resultados.

- *Tipo de traza*: Hace referencia a la representación en pantalla del nivel de potencia. Las principales variantes que nos ofrece el analizador y que son interesantes para el presente trabajo, son las de media y pico máximo. La primera de ellas promedia los niveles de potencia máximos y mínimos y establece un valor medio. Para la segunda, toma como valor la potencia máxima sin realizar ninguna operación. En la figura 2.3 se observa que el nivel de potencia para el caso de valor medio, decae aproximadamente unos 5 dBs respecto a la de pico máximo, por lo que esto es un parámetro importante a determinar. En nuestro caso, como queremos establecer los niveles máximos de potencia y de adecuación a la máscara, optamos por la opción de traza basada en potencia máxima.
- *Detector envolvente*: Sirve para obtener los valores de pico de la señal que sale del *filtro de frecuencia intermedia*. En ella se pierde la información de fase de la señal y se queda con los valores de amplitud.

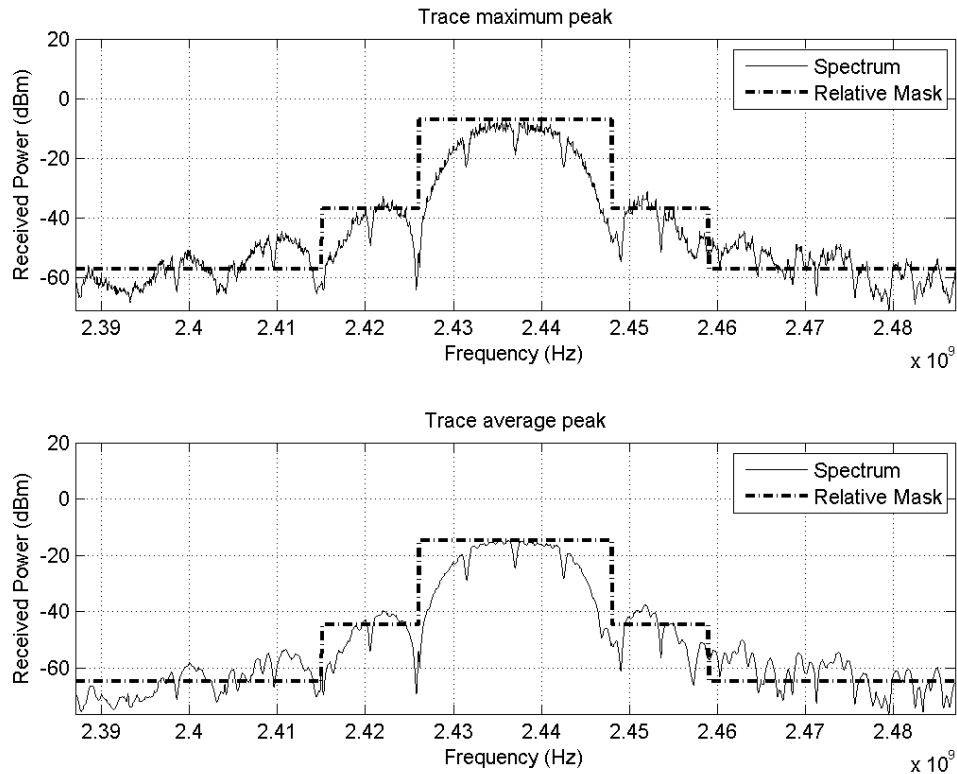


Figura 2.3: Traza en media y traza pico máximo.

Nuestro analizador tiene varias opciones de detección: muestra, pico positivo, pico negativo, normal o en promedio. De entre todas ellas se ha seleccionado la de pico, ya que se muestran todos los valores reales en amplitud al mostrar en frecuencia y que el resto de opciones no tenían un efecto apreciable de cara al estudio.

- *Average/Hold*: Este parámetro hace referencia al promedio de trazas. Se basa en promediar las trazas de extremo a extremo del rango a representar. Se realiza dicha operación para obtener mejor la señal objeto y reducir el nivel de ruido interno del propio analizador.

En nuestro caso hemos seleccionado el valor de 500 frente al de 100. Ello es debido porque con valores altos en promedios, más mitigamos el nivel de ruido interno.

- *Filtro de frecuencia intermedia o de resolución (RBW)*: Determina la capacidad de separar dos señales sinusoidales en la entrada del analizador en dos respuestas en frecuencia. Debido a que el ancho de banda de las señales puede ser distinto al del filtro de resolución, siempre a la salida del mismo se mostrará el ancho de banda mayor de ambos, o el de la señal o el del filtro de resolución. Hay que tener en cuenta que este valor afecta considerablemente al tiempo de barrido de la señal, así que si aumentamos el ancho de banda del filtro de resolución, el tiempo de barrido será menor.

Tipo medición	Pico de referencia
Tipo de traza	Pico máximo
Filtro	Gaussiano
Detector	Pico
Average/hold	500
RBW	100 KHz
VBW	30 KHz

Cuadro 2.2: Parámetros analizador de espectro.

Hemos seleccionado el valor de 100KHz ya que es el referente en el estándar [7] para este tipo de señales.

- *Filtro de vídeo (VBW)*: Sirve para la representación de la señal en la pantalla del analizador. Si se selecciona por debajo de RBW, el analizador deja de seguir las variaciones rápidas de envolvente de la señal y por lo tanto las de ruido. En nuestro caso, establecemos dicho valor a 30KHz según el estándar [7].

Finalmente, en el cuadro 2.2 se pueden ver los ajustes finales de los parámetros del analizador para la toma de datos.

2.4. Entornos de medida

Inicialmente, y antes de empezar con la batería de pruebas finales, se hizo un estudio pertinente de los dos posibles entornos que se presentaban para la toma de medidas. El primero de ellos, era un entorno convencional como el laboratorio 4.1.F04 de la Universidad Carlos III de Madrid, con presencia de señales del mismo tipo que los del objeto del análisis, y el segundo de ellos, dentro de una cámara anecoica del Departamento de Teoría de la Señal de la Universidad Carlos III de Madrid y con ausencia de cualquier señal que pueda interferir.

2.4.1. Laboratorio

Los primeros datos capturados en el laboratorio 4.1.F04 no se pudo llegar a conclusiones exactas sobre lo que estaba sucediendo dentro de la máscara del espectro y más a lo referente a:

- *Límite superior/ inferior del ancho de banda del canal*: La presencia de tráfico de red en canales adyacentes hace que parte de su espectro se solape.

Como demostración de ello (figura 2.4) en las bandas de 2,4GHz y 5GHz, y concretamente en el canal 1 (2,412GHz) y el canal 40 (5,2GHz), se observa que entre 2,42GHz y 2,43GHz existe interferencia de la señal en el canal 1,

que es donde transmiten nuestros equipos. A frecuencia de 5,21 GHz existe interferencia con la señal más próxima en torno a los 5,22GHz.

- *Dentro del canal de estudio:* La potencia de transmisión de equipos cercanos emitiendo en el mismo canal a emplear en los experimentos hacía imposible detectar nuestras señales claramente sin diferenciarlas del resto. En la figura 2.5 en bandas de 2,4GHz y 5GHz respectivamente, se observa la actividad existente en el canal lo que justifica la imposibilidad obtener resultados.

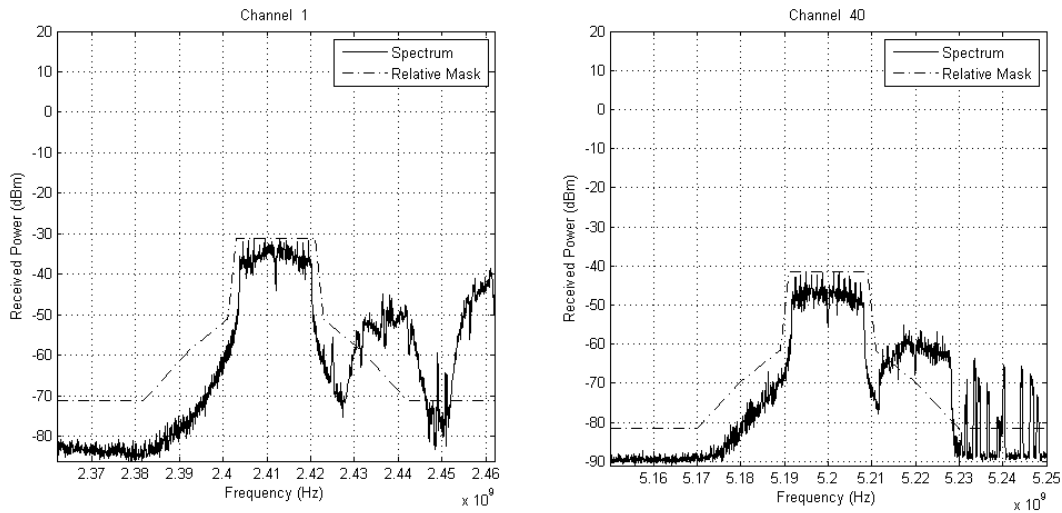


Figura 2.4: Interferencias en bandas de 2,4GHz y 5GHz, canal 1 y 40 respectivamente

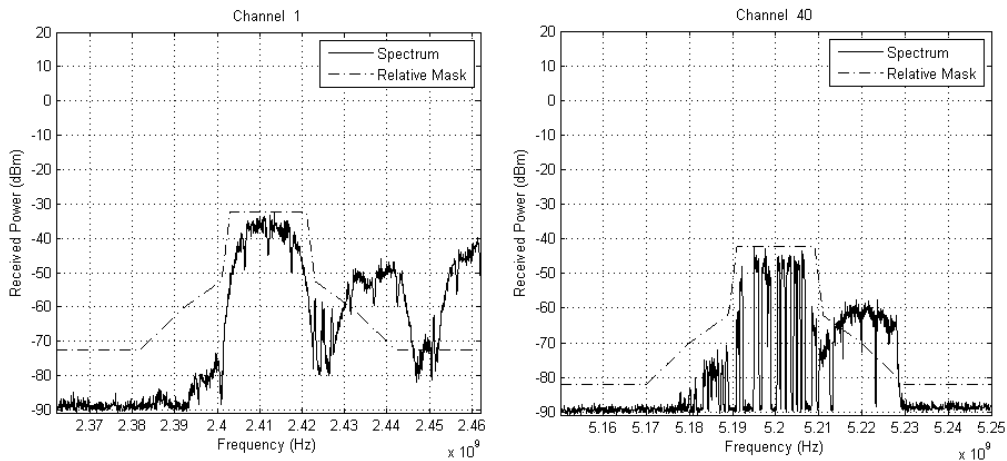


Figura 2.5: Actividad en los canal 1 y 40 de las bandas de 2,4GHz y 5GHz respectivamente

Debido a estos resultados, obtenidos en un entorno convencional, se concluye que no se puede realizar un estudio exhaustivo del espectro en estos canales y se decide que todas las medidas del experimento se van a tomar dentro de la cámara anecoica.

2.4.2. Cámara anecoica

La cámara anecoica (figura 2.6) nos ofrece un ambiente controlado, consiguiendo reducir la interferencia de señales ambientales, llegando casi a simular las condiciones de espacio libre. De esta forma conseguimos eliminar la situación indicada anteriormente y garantizar que las medidas no se verán afectadas por interferencias.

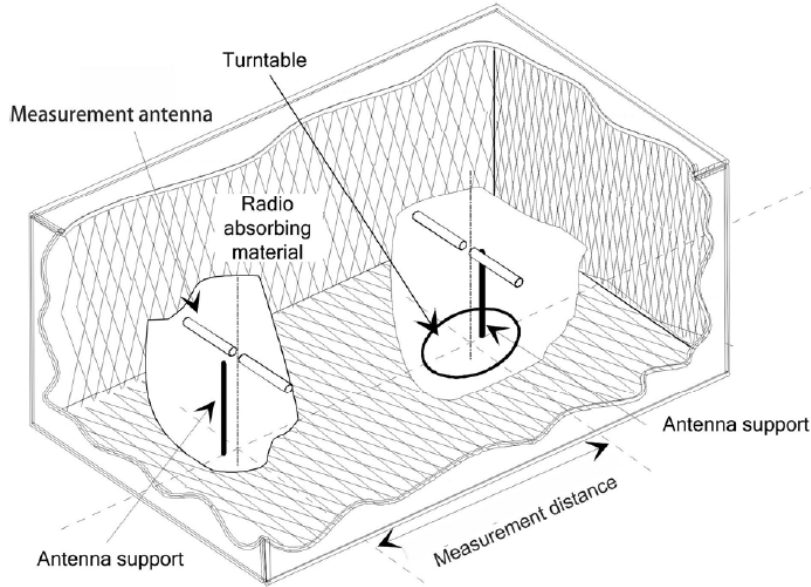


Figura 2.6: Típica cámara anecoica según [11].

Dada que la disposición de las antenas están fijadas de antemano en la cámara, se tuvo que confirmar que la distancia entre antenas permitía encontrarse dentro del campo lejano. Para ello, el campo lejano se aproxima a la ecuación 2.1 según [12]:

$$R_f \simeq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.1)$$

donde tenemos que,

- R_f es la distancia desde la antena hasta la zona donde comienza el campo lejano.
- λ es la longitud de onda medida.
- D es la longitud total de la antena medida.

Si aplicamos los valores de los cuadros 2.3 y 2.4 en la ecuación 2.1, obtenemos los resultados del cuadro 2.5 y con la disposición de los equipos dentro de la cámara anecoica según la figura 2.7, verificamos que estamos en condiciones de campo lejano.

Equipo	Parámetro D
Asus	8,5 cm
Linksys	17,5 cm

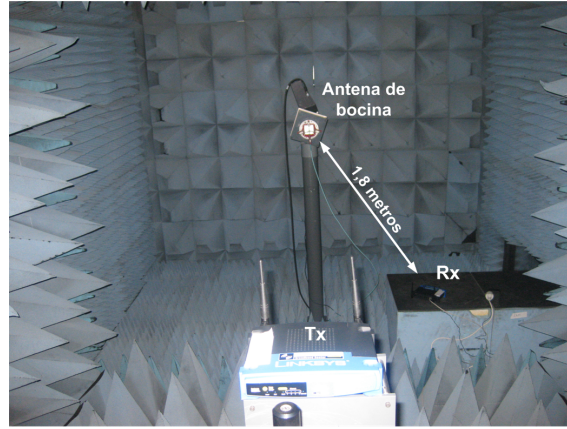
Cuadro 2.3: Longitudes de las antenas. Parámetro D en la ecuación 2.1.

Frecuencia	λ
2,412GHz	0,16 cm
2,462GHz	0,15 cm
5,2GHz	0,07 cm
5,825GHz	0,06 cm

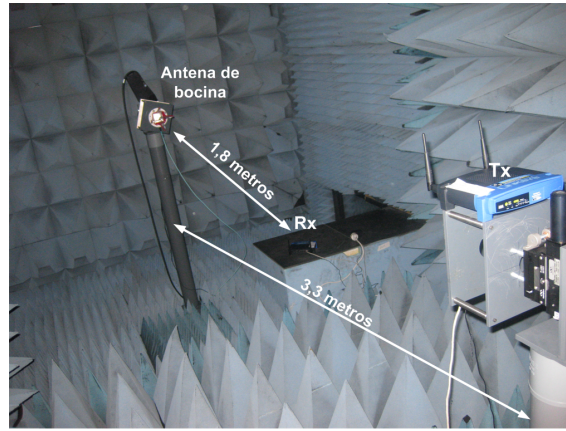
Cuadro 2.4: Longitudes de ondas de las señales.

Equipo	Frecuencia	Campo Lejano
Linksys	2,412GHz	49 cm
Linksys	2,462GHz	50 cm
Asus	2,412GHz	12 cm
Asus	2,462GHz	12 cm
Asus	5,2GHz	25 cm
Asus	5,825GHz	29 cm

Cuadro 2.5: Aproximaciones de campos lejanos.



(a) Vista 1



(b) Vista 2

Figura 2.7: Cámara anecoica

2.4.3. Balance del enlace

Para tener en cuenta todos los elementos empleados para la toma de medidas, hay que tener en consideración las pérdidas de los cables, ganancias de las antenas y las pérdidas del espacio libre. Para ellos tenemos que realizar un balance de potencias según:

$$P_{rx} = P_{tx} - L_{tx} + G_{tx} - L_{bf} + G_{tx} - L_{rx} \text{ (en dB)} \quad (2.2)$$

donde,

- P_{rx} es la potencia recibida en el receptor.
- P_{tx} es la potencia transmitida desde emisor.
- L_{tx} pérdidas en el transmisor.
- G_{tx} ganancia de la antenna transmisora.

- L_{tx} pérdidas en el espacio libre.
- G_{rx} ganancia de la antena receptora.
- L_{tx} pérdidas en el receptor.

Para evaluar las pérdidas en el espacio libre, se sigue el modelo de Friis para las pérdidas en el espacio libre [13]:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 * \log f(MHz) + 20 * \log D(Km) \text{ (en dB)} \quad (2.3)$$

donde,

- L_{bf} son las pérdidas en el espacio libre medido en dB.
- f es la frecuencia medida en GHz.
- d es la distancia entre antenas medida en Km.

Debido a que estamos empleando equipos comerciales, nos encontramos con la problemática de que parámetros como las pérdidas del transmisor, no son especificadas por el fabricante. Por lo tanto podemos realizar la siguiente aproximación:

$$P_{rx} \simeq P_{tx} + K \text{ (en dB)} \quad (2.4)$$

donde,

$$K \simeq G_{tx} - L_{bf} + G_{rx} - L_{rx} \text{ (en dB)} \quad (2.5)$$

Si aplicamos la ecuación 2.3 en 2.5 junto con los valores especificados en las hojas de características de los equipos [14], [15], [16], la estimación de K es según el cuadro 2.6.

Equipo	Frecuencia	K
Linksys	2,412GHz	-48 dBs
Linksys	2,462GHz	-48 dBs
Asus	2,412GHz	-46 dBs
Asus	2,462GHz	-46 dBs
Asus	5,2GHz	-48 dBs
Asus	5,825GHz	-49 dBs

Cuadro 2.6: Estimación de K

Típicamente para valores de entre 0 dBm y 20 dBm en transmisión, rango dinámico de la potencia en recepción será entre:

$$-47,5 < P_{\text{rx}} < -27,5 \quad (2.6)$$

Capítulo 3

Máscara de emisión

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el estudio de la máscara de transmisión tras realizar la batería de pruebas según se indicó en el capítulo anterior.

Las bandas en las que transmiten los dispositivos inalámbricos son:

- Banda de 2,4 GHz - modo g: Linksys y Asus.
- Banda de 5 GHz - modo a: Asus.

Y los canales en los que se han realizado las pruebas:

- Banda de 2,4 GHz - modo g: Canales 1 (2,12 GHz) y 11 (2,62 GHz).
- Banda de 5 GHz - modo a: Canales 40 (5,2 GHz) y 165 (5,825 GHz).

A continuación se explica el procedimiento que se siguió para la toma de medidas. Primeramente se posicionaron los dispositivos a medir dentro de la cámara anecoica. El equipo configurado previamente como cliente, se colocó frente a la sonda de medición que esta conectada al analizador de espectro en el exterior. El otro equipo configurado como punto de acceso, se posicionó de forma paralela a la sonda de medición y justamente por debajo de ella a una distancia superior a la del campo lejano. Ambos equipos se conectaron a los puntos de red Ethernet existente dentro de la cámara para tener conexión desde el exterior.

Una vez comprobado que los equipos están conectados a la red Ethernet y que se llegan a ellos desde el portátil donde se realizaron los cambios de configuración, se pasó a establecer las conexiones inalámbricas entre ambos. Mencionar, que la utilización del portátil es como modo de configuración y control. Por otro lado, el analizador de espectro no tiene la posibilidad de configurarlo previamente como los equipos a caracterizar, por lo que hubo que hacerlo in situ y según los parámetros 2.2. Para la captura de datos del interior de la cámara, se conectó el analizador con la sonda a través de un cable existente que une el exterior de la cámara con la

sonda directamente. Posteriormente y antes de empezar con las pruebas, se pasó a comprobar la actividad de tráfico existente dentro de la cámara para observar que los equipos estaban funcionando.

Para comenzar con las pruebas, desde el portátil y mediante conexión a través de SSH a los equipos, se arrancó la herramienta *iperf* en modo servidor en el punto de acceso y en modo cliente en el otro equipo. Antes de empezar a enviar datos desde el cliente, la conexión que se debía establecer tenía que UDP y durante un tiempo estimado de 23 segundos, que es un poco más de lo que tarda en media el analizador en capturar todos los datos. Para empezar la captura final, se debe de establecer la conexión entre cliente y servidor de los equipos a la misma vez que se empieza a capturar información del enlace, ello debe hacerse de forma manual por cada una de las mediciones que se quiera realizar.

Una vez terminada la captura de la información, se tenían que guardar los datos de forma manual. Los datos a almacenar fueron las trazas en el formato del analizador, una captura de pantalla y se anotaba en un documento de hoja de cálculo la potencia configurada y la potencia recibida. Después de ello, se pasaba a aumentar la potencia del equipo transmisor en 1dBm para volver a repetir el proceso de establecimiento de la conexión ente cliente-servidor a la vez que se empiezan a capturar datos en en analizador. El tiempo en media para realizar cada una de las capturas desde el cambio de potencia hasta el almacenamiento de la información estaba en aproximadamente un minuto y medio.

Este procedimiento se realizó desde la mínima potencia a 0 dBms hasta la máxima configurable en los equipos y por cada uno de los canales. El tiempo en media que se tardó en realizar las pruebas por cada canal fue de una hora. Tras capturar toda la información en ambos canales de una sola pareja de equipos (utilizando un driver en concreto), había que volver a realizar el procedimiento desde el inicio para la nueva pareja de equipos.

En las secciones siguientes se estudia el espectro de cada equipo específico

3.1. Linksys con driver iw

La primera pareja a probar fueron los *Linksys con driver iw* en el canal 1, figura 3.1 (a). Una vez realizados todos los cambios de potencias desde la mínima hasta la máxima, se observa que el espectro se conforma según el estándar [7]. La mayor densidad de potencia se establece en el lóbulo central y de forma simétrica desde su portadora. También se observa que existe un vano del espectro en la posición de la portadora, eso se debe a que el estándar [7] dice que para la toma de datos del espectro en dichas bandas, se debe realizar una supresión de la misma.

Si realizamos las pruebas en el canal 11, figura 3.1 (b), el comportamiento es el mismo y se conforma el espectro a la máscara. La principal diferencia que existe, es el nivel de potencia que disminuye unos 5dBm tanto para la potencia máxima y mínima respecto al canal 1.

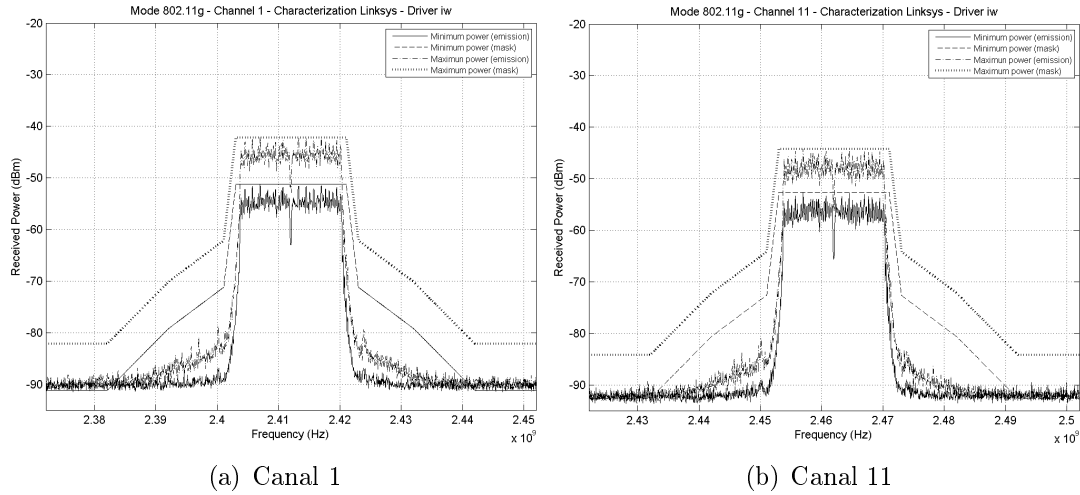


Figura 3.1: Niveles de espectro máximo y mínimo del Linksys con driver iw.

3.2. Linksys con driver b43

Para la pareja de *Linksys - driver b43* en el canal 1, figura 3.2 (a), y canal 11, figura 3.2 (b), se observa que para la mínima potencia, el ancho de banda utilizado para el envío de los datos, es menor, ya que toda la potencia de la señal esta en el lóbulo central. Por contrapartida, para la máxima potencia, la forma del espectro se ensancha más acercándose a la máscara de transmisión. Otro dato aspecto referente a la potencia es la diferencia entre el máximo y mínimo en ambos canales. En el canal 1 la diferencia se encuentra aproximadamente en unos 8 dBs, frente a los del canal 11 que distan a unos 15 dBms. También se observa que el nivel máximo se mantiene prácticamente igual en los dos canales, pero la potencia mínima, es más baja en el canal 11. Por último, en el canal 11 a frecuencia de unos 2,48 Ghz, se puede observar que existe alguna alteración en el espectro.

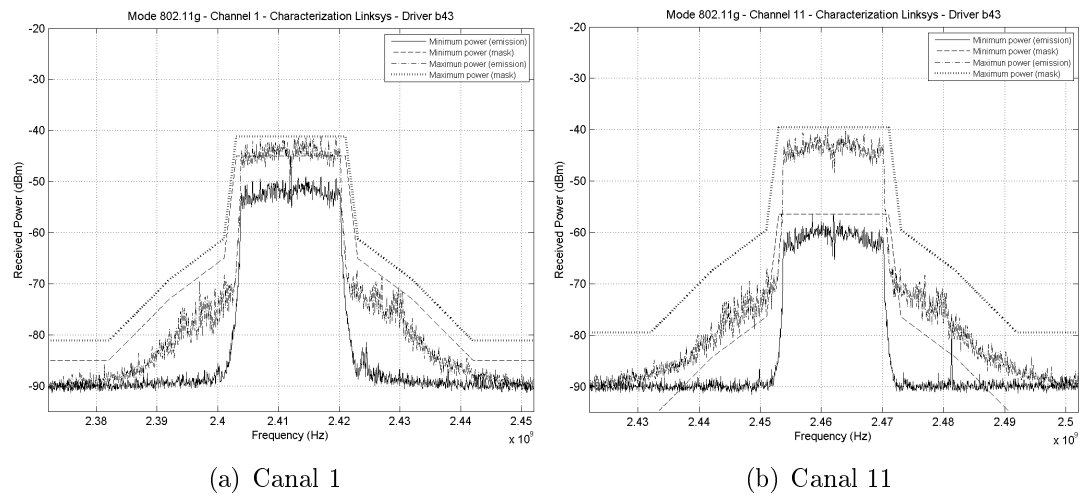


Figura 3.2: Niveles de espectro máximo y mínimo del Linksys con driver b43

3.3. Asus con driver ath5k banda de 2,4 Ghz

Para la pareja de *Asus - driver ath5k* en el canal 1, figura 3.3 (a), y canal 11, figura 3.3 (b), al igual que ocurre con los *Linksys - driver b43*, la diferencia de nivel de potencia entre el mínimo y el máximo en los distintos canales varía en unos 8 dBms aproximadamente. Respecto a la forma del espectro, se conforma a la máscara de transmisión en ambos canales para todas las potencias, pero para la mínima potencia del canal 11, el ancho de banda utilizado se ajusta más al lóbulo central de la máscara. Por último se puede observar que para las mínimas potencias, los niveles de las máscaras son diferentes en ambos canales.

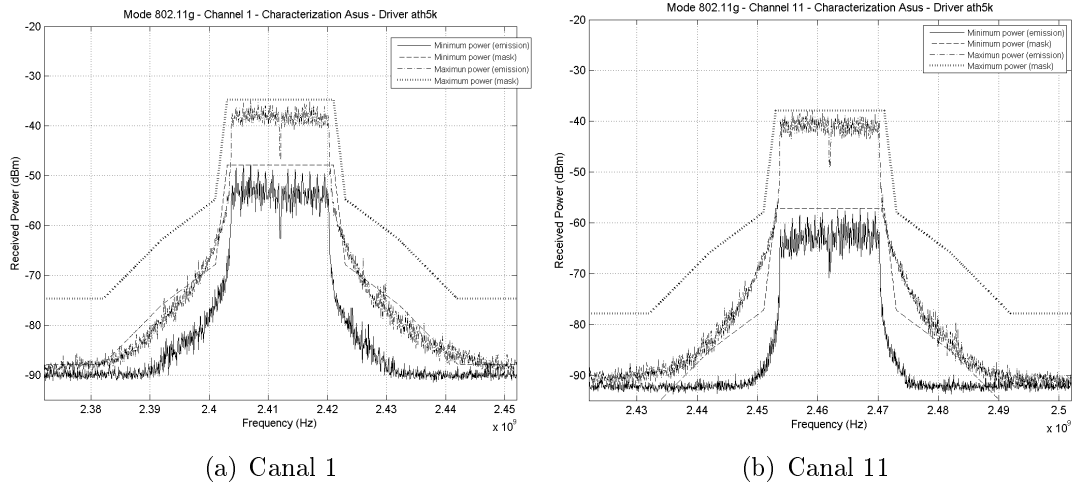


Figura 3.3: Niveles de espectro máximo y mínimo del Asus con driver ath5k

3.4. Asus con driver ath5k banda de 5Ghz

Para la pareja de *Asus - driver ath5k* en el canal 40, figura 3.4 (a), y canal 165, figura 3.4 (b), se observa que el espectro para la mínima potencia es muy parecida al igual que su nivel de potencia. Si aumentamos los niveles hasta el máximo configurable, la forma del espectro en el canal 165 pasa a utilizar un gran ancho de banda llegando a posicionarse en el límite de la máscara.

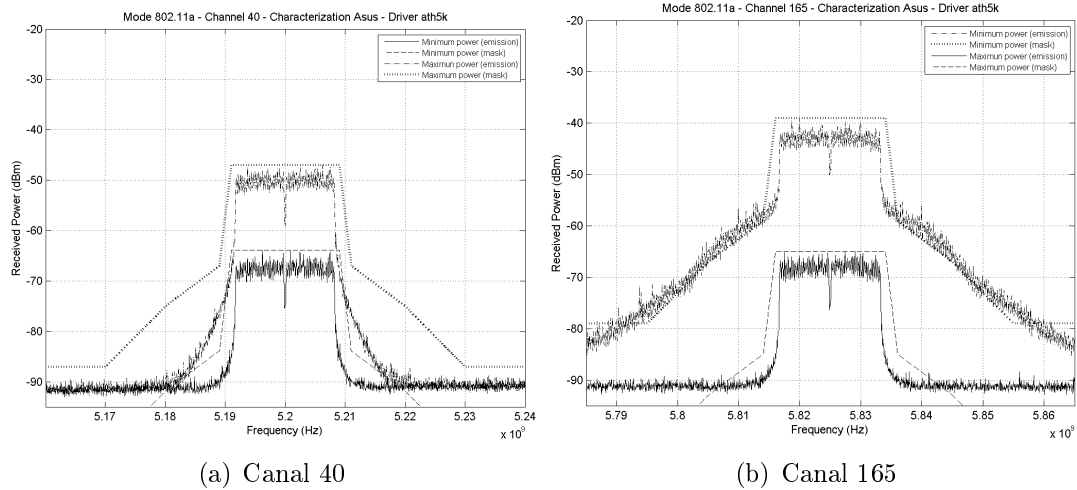


Figura 3.4: Niveles de espectro máximo y mínimo del Asus con driver ath5k

Se puede observar que para los equipos los *Linksys - iw* en ambos canales a máxima y mínima potencia, *Linksys - b43* en ambos canales a mínima potencia, *Asus - ath5k* a 2,4Ghz en el canal 11 mínima potencia y por último los *Asus - ath5k* a 5Ghz en ambos canales a mínima potencia, son muy adecuados para reutilización de frecuencias en zonas de gran densidad debido a que las pendientes del espectro son muy abruptas y no interferirían demasiado en los canales cercanos.

Por último, se debe tener en consideración que en la banda de de 2,4Ghz la separación o distancia entre canales es de 50 Mhz frente a los de la banda de 5Ghz que se encuentran separados 625 Mhz.

Capítulo 4

Configuración de la potencia de transmisión potencias

Durante el estudio del espectro de emisión, se observó que existían problemas en los niveles de potencia ya que la diferencia entre máximos y mínimos fluctuaba en los distintos canales. A continuación se estudia el comportamiento de la potencia para cada uno de los dispositivos y sus drivers.

El procedimiento empleado para la toma de los valores de potencias fue el mismo que para la toma del espectro, primeramente posicionamiento de equipos, establecimiento de la conexión inalámbrica, configuración del analizador y por último toma de medidas estableciendo una conexión UDP entre cliente y servidor e iniciando dicha conexión al mismo tiempo que la captura de datos.

Los cambios de potencia en el transmisor se realizaron en intervalos de 1 dBm. Como dichos cambios se realizan en términos logarítmicos, la representación de a continuación también se realizará en términos logarítmicos. Para ello, según la ecuación 2.4, se puede observar que si realizamos cambios de forma lineal de la potencia entrada, la potencia de salida deben seguir esos cambios. Si eso esto último es así y se hace una representación de ello, de la salida frente a la entrada, la respuesta debe de seguir una curva lineal de pendiente 1.

4.1. Linksys con driver iw

Utilizando la pareja de *Linksys* - *driver iw* en el canal 1, figura 4.1 (a), canal 11, 4.1 (b), se observa primeramente que el máximo de potencia que el equipo emisor permite configurar, es de 32 dBms y 30 dBms para canales 1 y 11 respectivamente. Seguidamente se observa que para un rango de valores, exactamente entre 0 y 9 dBms, 16 dBms y el máximo, el *Linksys con driver iw* tiene una respuesta aproximadamente plana ante cambios lineales de la misma. Es sólo entre los valores de 9dBms y 16 dBms donde el equipo responde linealmente ante los cambios de potencia.

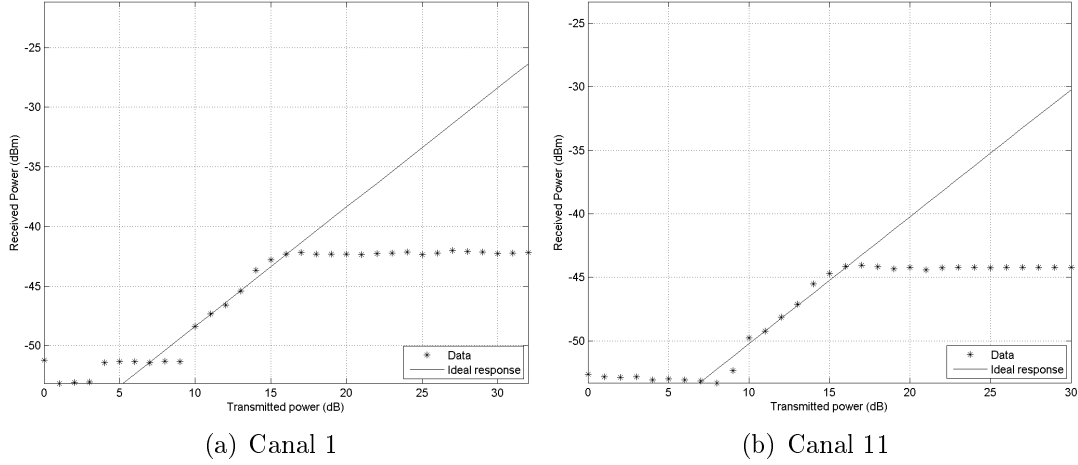


Figura 4.1: Respuesta Linksys con driver iw en banda de 2,4GHz.

4.2. Linksys con driver b43

Para la pareja de *Linksys* - *driver b43* en el canal 1, figura 4.2 (a), y canal 11 (b), figura 4.2 (b), la respuesta en ambos canales tienden a la linealidad, pero la desviación que comenten es muy elevada.

En este punto hay que observar que ocurre el mismo fenómeno de caída de la potencia a unos 7 dBms como les ocurría en unos de los trabajos previos [6].

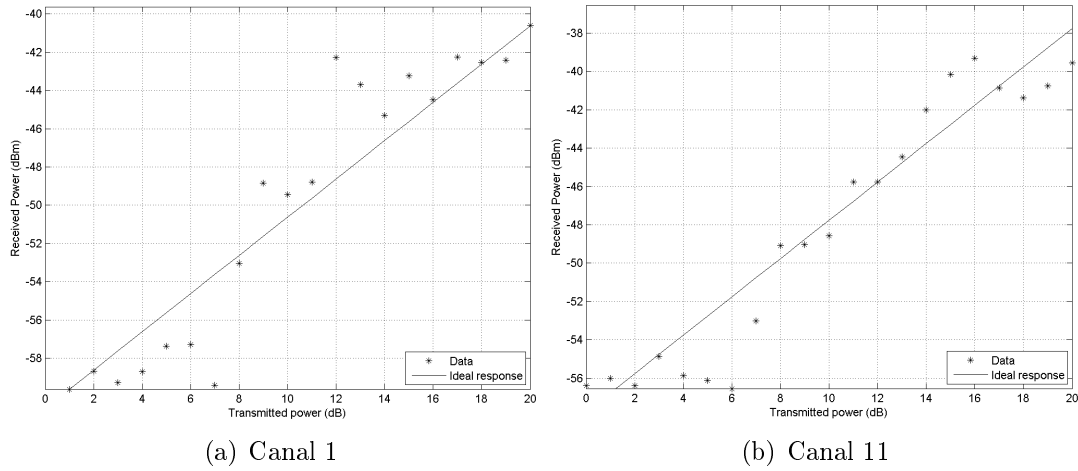


Figura 4.2: Respuesta Linksys con driver b43 en banda de 2,4GHz.

4.3. Asus con driver ath5k en banda de 2,4GHz

Para la pareja de *Asus* - *driver ath5K* en el canal 1, figura 4.3 (a), y canal 11 (b), figura 4.3 (b), se puede observar que en el canal 1 existe un fenómeno prácticamente

idéntico a los de los Linksys - driver iw, entre 9 dBm y 16 dBm, existe una respuesta lineal, pero fuera de ese rango, la respuesta es plana. Respecto al canal 11 y a partir de los 18 dBms, el equipo parece responder de forma plana, pero a 24 dBm parece que existe aleatoriedad porque el nivel de potencia aumenta. Hay que observar que en ambos casos la potencia mínima del transmisor comienza a 4dBm.

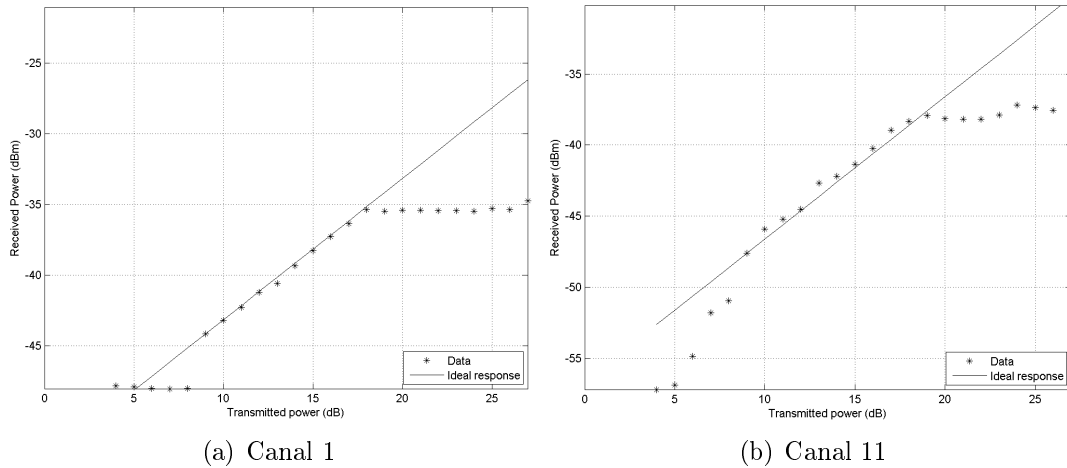


Figura 4.3: Respuesta Asus con driver ath5k en banda de 2,4GHz.

4.4. Asus con driver ath5k en banda de 5 GHz

Para la pareja de *Asus - driver ath5K* en el canal 1, figura 4.4 (a), y canal 11 (b), figura 4.4 (b), se puede observar que el canal responde perfectamente ante los cambios de potencias desde los 0 dBm's. Respecto al canal 11 tiene prácticamente la misma respuesta que en la banda de 2,4 GHz.

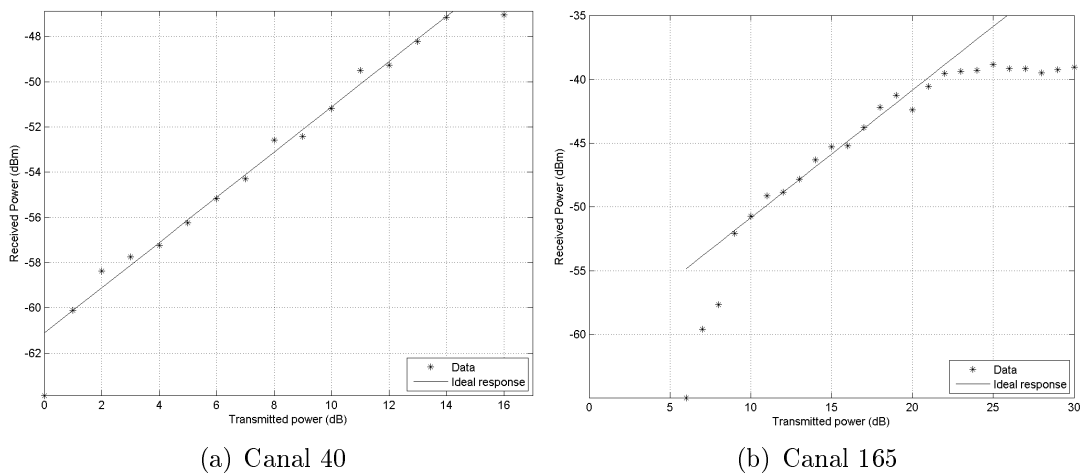


Figura 4.4: Respuesta Asus con driver ath5k en banda 5GHz.

Dispositivo	Driver	Banda	Canal	Potencia máx configurada tx	Potencia máx rx
Linksys	iw	2.4 GHz	1	32 dBm	-42,17 dBm
Linksys	iw	2.4 GHz	11	30 dBm	-44,06 dBm
Linksys	b43	2.4 GHz	1	20 dBm	-40,59 dBm
Linksys	b43	2.4 GHz	11	20 dBm	-39,31 dBm
Linksys	Ath5k	5 GHz	1	27 dBm	-40,59 dBm
Linksys	Ath5k	5 GHz	11	27 dBm	-37,17 dBm
Linksys	Ath5k	5 GHz	40	17 dBm	-46,47 dBm
Linksys	Ath5k	5 GHz	165	30 dBm	-39,02 dBm

Cuadro 4.1: Relación de dispositivos y características.

4.5. Resumen de resultados

Capítulo 5

Conclusiones y líneas de trabajo futuras.

Como se pudo ver en los estudios anteriores, existen observaciones que no son muy claras, por lo tanto podemos concluir el presente trabajo de la siguiente forma:

- Los *Linksys con driver iw* se prestan fácilmente para ser aplicados a las redes densas ya que la adecuación de la máscara es muy buena y emite poco en los canales adyacentes. Los mismo ocurre con los *Linksys con driver b43* y *Asus con driver ath5k* a bajas potencias.
- En contrapartida a lo anterior, los *Asus en la banda de 5GHz* y a máxima potencia, radian demasiado en los canales adyacentes, por lo que su uso en las redes densas no es recomendable.
- Respecto a la respuesta lineal a la salida, ante cambios también lineales a la entrada, podemos decir que los *Linksys con driver b43* su respuesta fluctúa demasiado.
- También se ha identificado que los *Asus* en la banda de 2,4 GHz a bajas potencias presentan problemas de conectividad o respuesta en la salida del transmisor.
- Se puede también decir que los *Linksys con driver iw* y los *Asus* en la banda de 2,4 GHz la potencia máxima real a la que transmiten cumple normativa [17], [18] y [19], pero por contrapartida, esto nos lleva entonces que el software de los drivers presentan una problemática al configurar potencias por encima de la permitida sin avisar al usuario de ello.
- Al hilo del punto anterior, también se observó que mientras se realizaban los cambios de potencia en los *Linksys con driver iw*, para alguna de ellas, el equipo establecía otra potencia 5.1

Potencia configurada	Potencia establecida por el driver
1 dBm	0 dBm
2 dBm	0 dBm
3 dBm	0 dBm
6 dBm	5 dBm
15 dBm	16 dBm
16 dBm	17 dBm
21 dBm	22 dBm
23 dBm	24 dBm
28 dBm	29 dBm

Cuadro 5.1: Fallos de configuración en los cambios de potencia en los *Linksys - driver iw*.

Como líneas futuras de trabajo se podrían llevar a cabo los siguientes estudios:

- Realizar este mismo trabajo con otros dispositivos presentes en el mercado, como por ejemplo portátiles, otras marcas comerciales de dispositivos IEEE 802.11..., es decir, cualquier dispositivo que emita bajo el estándar de IEEE 802.11.
- Realizar este mismo trabajo pero en todos los canales.
- Al igual que se ha caracterizado la potencia de transmisión de los equipos, también caracterizar la sensibilidad en recepción. Como se vio en el estudio de [6] existían problemas en ciertos niveles de potencia y que puede ser debido a problemas en recepción.
- Bajo los canales y potencias que se adecuan mejor a la máscara de transmisión, realizar estudios de reutilización, para aplicarlo a redes densas.

Apéndice A

Planificación de tareas y presupuesto

A.1. Introducción

En este apéndice se presenta una relación de tareas en las que se ha dividido el trabajo fin de grado y un desglose justificado de los costes para llevarlo a cabo.

Finalmente, se presenta un presupuesto total de ejecución del proyecto, incluyendo el coste de cada tarea así como de los distintos materiales utilizados.

A.2. Descomposición en tareas

La realización del presente trabajo engloba la ejecución de diversas tareas que han sido clasificadas según sus objetivos. Esta división en tareas se presenta en el Cuadro [A.1](#).

A continuación, se describen cada una de ellas, detallando los objetivos específicos, la relación con otras tareas, la duración y el esfuerzo dedicados a cada una de ellas:

TAREA A: DOCUMENTACIÓN Y ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE.

- Subtarea A.1: Estudio del estado actual de las redes densas
 - Descripción: Análisis de las redes densas mediante la lectura de trabajos previos.
 - Objetivos: Entender la situación real de las redes densas.
 - Dependencia (o relación) con otras tareas: Dará comienzo al inicio del proyecto.
 - Duración: 11 días.
 - Recursos: Ingeniero 0.5 hombres/mes.
- Subtarea A.2: Estudio de trabajos previos en redes WLAN

- Descripción: Análisis de las redes WLAN mediante la lectura de trabajos previos.
 - Objetivos: Entender la situación real de las redes WLAN y su conexión con las redes densas.
 - Dependencia (o relación) con otras tareas: Ninguna
 - Duración: 11 días
 - Recursos: Ingeniero 0.5 hombres/mes.
- Subtarea A.3: Estudio de OpenWRT
 - Descripción: Análisis de documentación sobre de la distribución OpenWrt.
 - Objetivos: Profundizar en detalle en el sistema, especialmente en los drivers para tarjetas inalámbricas, para en fase posteriores trabajar con ello.
 - Dependencia (o relación) con otras tareas: Ninguna
 - Duración: 48 días.
 - Recursos: Ingeniero 0.5 hombres/mes.

TAREA B: INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS.

- Descripción: Instalación y configuración de equipos en el Laboratorio 4.1.F04, carga de firmware y drivers en cada uno de los dispositivos inalámbricos.
- Objetivos: Puesta en marcha de todos los equipos por su interfaz radio.
- Dependencia (o relación) con otras tareas: Tiene que haber comenzado la subtarea A.2
- Duración: 60 días
- Recursos: Ingeniero 0.25 hombres/mes.

TAREA C: ESTUDIO Y CONFIGURACIÓN DEL ANALIZADOR.

- Subtarea C.1: Estudio de analizadores de espectro
 - Descripción: Analizar documentación del fabricante Agilent Technologies y arquitectura de diseños. También trabajar con todas las funciones y los parámetros que ofrece el equipo.
 - Objetivos: Identificar que funciones son las necesarias para el presente trabajo.
 - Dependencia (o relación) con otras tareas: Tiene que finalizar la subtarea A.2.
 - Duración: 66 días.

- Recursos: Ingeniero 0.25 hombres/mes.
- Subtarea C.2: Configuración del analizador de espectro
 - Descripción: Trabajar con los parámetros que afectan a la toma de datos de la máscara de emisión.
 - Objetivos: Identificar las diferentes opciones de los parámetros y seleccionar la adecuada que se ajuste al trabajo.
 - Dependencia (o relación) con otras tareas: Tiene que haber dado comienzo la subtarea C.1.
 - Duración: 26 días.
 - Recursos: Ingeniero 0.25 hombres/mes.

TAREA D: ESTUDIO DE LAS MÁSCARAS DE TRANSMISIÓN 802.11a/b/g.

- Descripción: Estudiar estándares relativos a las máscaras de transmisión y capturar trazas con el analizador.
- Objetivos: Relacionar los aspectos teóricos con los prácticos.
- Dependencia (o relación) con otras tareas: Tienen que finalizar todas las tareas anteriores.
- Duración: 55 días.
- Recursos: Ingeniero 0.25 hombres/mes.

TAREA E: PRUEBAS PREVIAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

- Subtarea E.1: Pruebas iniciales en Laboratorio 4.1.F04
 - Descripción: Realizar capturas de trazas en las bandas de 2,4 Ghz - 5 Ghz y en diferentes canales. Analizar los datos obtenidos, identificar.
 - Objetivos: Identificar problemas en el espectro ante cambios de potencias en los equipos transmisores.
 - Dependencia (o relación) con otras tareas: Tienen que finalizar todas las tareas anteriores.
 - Duración: 55 días.
 - Recursos: Ingeniero 0.25 hombres/mes.
- Subtarea E.2: Pruebas simulación cámara anecoica en Laboratorio 4.1.F04
 - Descripción: Definir un procedimiento de capturas a realizar en la cámara anecoica. Realizar dicho procedimiento e identificar problemas para solucionarlos antes de entrar en la cámara anecoica.

- Objetivos: Simular una situación real y corregir problemas que puedan surgir.
- Dependencia (o relación) con otras tareas: Tiene que tener que finalizar las tareas D y E.
- Duración: 43 días.
- Recursos: Ingeniero 0.5 hombres/mes.

TAREA F: DESPLIEGUE, CONFIGURACIÓN Y TOMA DE MEDIDAS FINALES.

- Descripción: Pues en marcha de los equipos dentro de la cámara anecoica y realizar pruebas ensayadas previamente.
- Objetivos: Toma de medidas finales.
- Dependencia (o relación) con otras tareas: Tiene que finalizar la subtask E.2.
- Duración: 1,5 días.
- Recursos: Ingeniero 1 hombre/mes.

TAREA G: EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS.

- Descripción: Analizar los resultados obtenidos mediante la obtención de gráficas representativas y compararlo con resultados obtenidos previamente.
- Objetivos: Identificar y caracterizar el comportamiento de los equipos.
- Dependencia (o relación) con otras tareas: Tiene que finalizar la tarea F.
- Duración: 10 días.
- Recursos: Ingeniero 1 hombre/mes.

TAREA H: MEMORIA

- Subtask H.1: Organización y estructura del documento
 - Descripción: Identificar cual será el diseño final de la memoria para presentar los datos muy brevemente.
 - Objetivos: Diseñar estructura de la memoria.
 - Dependencia (o relación) con otras tareas: Tiene que finalizar la tarea G.
 - Duración: 3 días.
 - Recursos: Ingeniero 1.5 hombres/mes.
- Subtask H.2: Realización del documento

- Descripción: Obtener una memoria lo más simplificada posible que englobe todos los puntos vistos a lo largo del proyecto.
- Objetivos: Redactar la memoria.
- Dependencia (o relación) con otras tareas: Tiene que finalizar la subtaska H.1.
- Duración: 10 días.
- Recursos: Ingeniero 1.5 hombres/mes.

Tarea	Recursos (Ing/mes)	Total(h)
<i>A Documentación y análisis del estado del arte</i>		
A.1 Estudio del estado actual de redes densas	0.5	44
A.2 Estudio de trabajos previos en redes WLAN	0.5	44
A.3 Estudio OpenWrt	0.5	192
Total		280
<i>B Instalación y configuración de dispositivos</i>	0.25	120
Total		120
<i>C Estudio y configuración del analizador</i>		
C.1 Estudio de analizadores de espectro	0.5	264
C.2 Configuración del analizador de espectro	0.5	104
Total		368
<i>D Estudio de las máscaras de transmisión 802.11 a/b/g</i>	0.25	110
Total		110
<i>E Pruebas previas y análisis de resultados</i>		
E.1 Pruebas iniciales en Laboratorio 4.1.F04	0.25	110
E.2 Pruebas simulación cámara anecoica en Laboratorio 4.1.F04	0.5	172
Total		282
<i>F Despliegue, configuración y toma de medidas</i>	1	12
Total		12
<i>G Evaluación de los resultados</i>	1	80
Total		80
<i>H Memoria</i>		
H.1 Organización y estructura del documento	1.5	36
H.2 Realización del documento final	1.5	120
Total		156
Total		1408

Cuadro A.1: Resumen descomposición en tareas

A.3. Planificación detallada con el diagrama de fases

En la Figura A.1, se presenta el diagrama de *Gantt* de todas las tareas del proyecto.

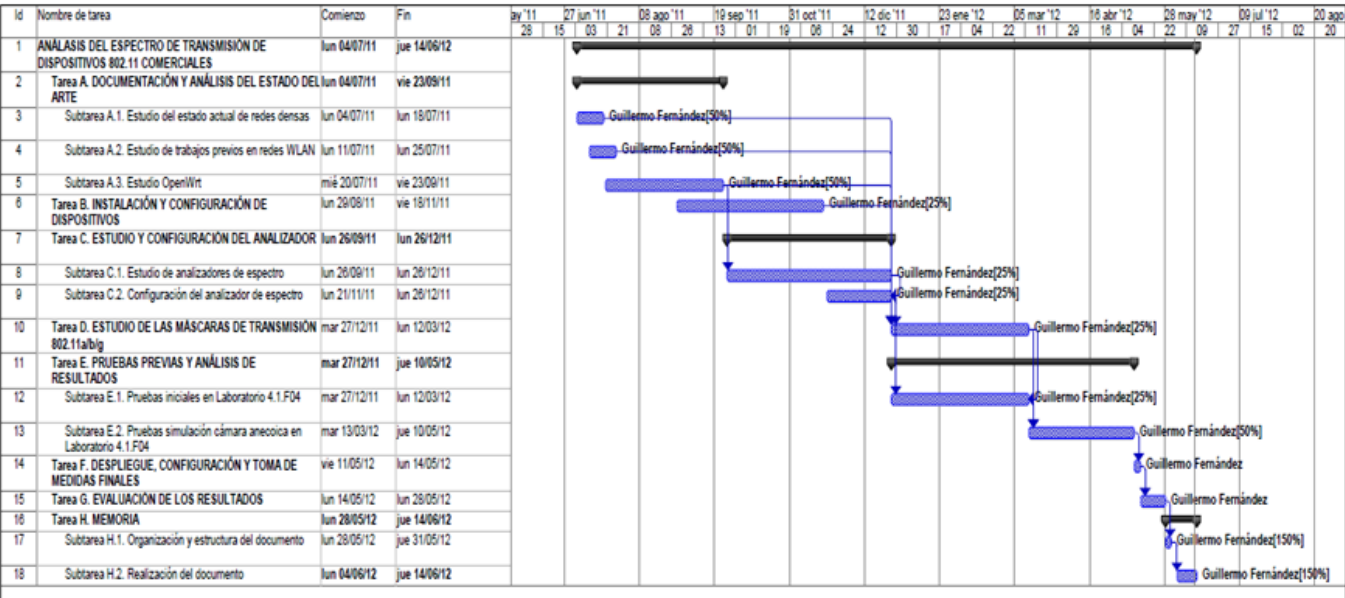


Figura A.1: Diagrama de Gantt

A.4. Recursos

En esta sección se describen los distintos recursos que son necesarios para la realización del proyecto. En el cuadro A.2 se muestran costes imputables al proyecto, frente que en el siguiente listado, se muestra el coto real :

- Recursos materiales:
 - Portátil con procesador Intel Pentium 4, 3.4 (Precio 650€) GHz. 1 GB RAM. Sistema operativo: Linux, distribución y Ubuntu 8.10.
 - Routers Linksys: 4 routers modelo WRT54G.
 - Routers (Precio 46,43€/unidad) Asus: 2 dispositivos modelo WL-500g Premium. (Precio 70,27€/unidad)
 - Tarjetas inalámbricas con tecnología Atheros: Dos tarjetas Alfa Networks AWPCI085S para reemplazar la tarjeta original de los routers Asus. (Precio 29,70€/unidad)
 - Adaptador inalámbrico 802.11 a/g TP-Link, modelo TL-ANT2408C 2.4GHz/5Ghz 8dBi. (Precio 10,53€/unidad)

- Equipamiento de red: 1 switch, 6 cables Ethernet. (Precio 30€/unidad)
- Analizador de espectro: N9010A EXA Signal Analyze de Agilent Technologies. (Precio 16047€/unidad)
- Recursos de trabajo: 1 Graduado en Ingeniería Telemática.

A.5. Presupuesto de Proyecto

En esta sección se muestra el presupuesto final del Proyecto (Tabla A.2).

1. - Autor: Guillermo Fernández
2. - Departamento: Ingeniería Telemática
3. - Descripción del Proyecto:
 - Título: Estudio del espectro y potencia de transmisión de dispositivos 802.11
 - Duración: 10,72 meses
 - Tasa de costes indirectos: 20 %.
4. - Presupuesto total del Proyecto (valorado en Euros): 37106 euros

Concepto	Cantidad	Coste (€)	Total (€)
Recursos materiales			
Analizador de espectro	1	1979,13	1979,13
Ordenadores Portátil	1	112,67	112,67
Routers Linksys	4	5,73	22,91
Routers Asus	2	8,67	17,33
Tarjetas inalámbricas AWPCI085S	2	3,86	7,33
Switch	1	3,7	3,7
Latiguillos de red	6	0,97	5,83
Antena para Analizador	1	1,3	1,3
Total			2037,52
Recursos humanos			
Graduado en Ingeniería Telemática	1 (1408 horas)	2694,39€/mes	28883,86
Total			28883,86
Costes indirectos			
Tasa de costes indirectos	1	6184	6184
Total			6184
Total			37106 €

Cuadro A.2: Presupuesto con amortización

5. Subcontratación de tareas: no se especifican.

6. Otros costes directos del proyecto: no se especifican.

Bibliografía

- [1] R. Ramanathan and R. Rosales-Hain, “Topology Control of Multihop Wireless Networks using Transmit Power Adjustment,” p. 10.
- [2] V. Kawadia and a P. R. Kumar, “Principles and Protocols for Power Control in Wirelss Ad Hoc Networks,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications: Special Issues on Wireless Ad Hoc Networks*, p. 13.
- [3] L. I. S. Fdida, “A Simple Cross-Layer Heuristic to Improve Throughput Capacity in Wireless Mesh Networks,” p. 10, October 2005.
- [4] F. B. Abdesslem, L. Iannone, and M. D. de Amorim, “On the feasibility of power control in current IEEE 802.11 devices,” *Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, no. 0-7695-2520-2/06, p. 5, 2006.
- [5] B. Raman, K. Chebrolu, D. Gokhale, and S. Sen, “On the Feasibility of the Link Abstraction in Wireless Mesh Networks,” *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, vol. 17, pp. 528 –541, april 2009.
- [6] P. Serrano, C. J. Bernardos, A. de la Oliva, A. Banchs, I. Soto, and M. Zink, “FloorNet: Deployment and Evaluation of a Multihop Wireless 802.11 Testbed,” p. 15, 2010.
- [7] “IEEE 802.11,” Tech. Rep. 0-7381-5655-8, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 3 Park Avenue, New York, 10016-5997 USA, June 2007.
- [8] A. Mishra, V. Shrivastava, S. Banerjee, and W. Arbaugh, “Partially Overlapped Channels Not Considered Harmful,” *SIGMetrics/Performance '06*, p. 12, June 2006.
- [9] Agilent Technologies, *Specifications Guide Agilent X-Series Signal Analyzer*.
- [10] Agilent Technologies, *Spectrum Analyzer Mode User’s and Programmer’s Reference*.
- [11] “Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Wide-band transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using wide band modulation ,” tech. rep., ETSI, April 2012.

- [12] “MEASURING NON-IONISING ELECTROMAGNETIC RADIATION (9 kHz - 300 GHz),” Tech. Rep. Revised ECC RECOMMENDATION (02)04, Electronic Communications Committee (ECC) and within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), October 2003.
- [13] “Cálculo de atenuación en el espacio libre, recomendación UIT-R PN.525-2,” tech. rep., UIT, 1994.
- [14] Asus, *WL-500gP Wireless Router*.
- [15] Cisco, *Wireless-G Linux Broadband Router*.
- [16] ETS LINDGREN, *ETS-Lindgren’s Model 3164-05 Quadridge Horn*.
- [17] “Orden ITC/332/2010, de 12 de febrero, por la que se aprueba el cuadro nacional de atribucion de frecuencias (CNAF),” Tech. Rep. 44, Febrero 2010.
- [18] D. O. de la Unión Europea, “Armonización del espectro radioeléctrico para su uso por dispositivos de corto alcance,” tech. rep., Diario Oficial de la Unión Europea, May 2009.
- [19] “Relating to the use of short range devices (SRD),” tech. rep., CEPT ERC RECOMMENDATION, May 2012.
- [20] M. Gast, *802.11 Wireless Networks*. 0-596-00183-5, O’Reilly, April 2002.
- [21] A. Goldsmith, *Wireless Communications*. Cambridge University Press, 2005.
- [22] U. Niesen, “Interference Alignment in Dense Wireless Networks,” p. 21, January 2011.
- [23] B. Baytekin and R. G. Meyer, “Analysis and Dimulation of Spectral Regrowth in Radio Frequency Power Amplifiers,” *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 40, p. 12, February 2005.
- [24] W. H. G. Christof Jonietz and R. Schober, “Transmission and Reception Concepts for WLAN IEEE 802.11b,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 5, p. 7, December 2006.
- [25] K. K. Vaggelis G. Douros, Pantelis A. Frangoudis and G. C. Polyzos, “Power Control in WLAN’s for Optimization of Social Fairness,” no. 978-0-7695-3323-0/08, p. 5, 2008.
- [26] Q. Hou and L. Gao, “The Simulation of WLAN Outdoor Coverage in Hot Spot Area for Wireless Digital City,” no. 978-1-4244-6252-0/11, p. 4, 2011.
- [27] P. Li, N. Scalabrino, E. Y. Fang, Gregori, and I. Chlamtac, “Channel Interference in IEEE 802.11b Systems,” *IEEE GLOBECOM*, no. 1930-529X/07, p. 5, 2007.

- [28] J. Zhao and R. Govindan, “Understanding Packet Delivery Performance in Dense Wireless Sensor Networks,” in *Proceedings ACM Conference on Embedded Networked Sensors Systems*, p. 14, 2003.
- [29] S. Toumpis, “Optimal Design and Opertation of Massively Dense Wireless Networks,” *Inter-Perf’ 06*, p. 10, October 2006.
- [30] J. Martín, “Analizadores de espectros. Tipos [I],” *Denver Metrología Electrónica*, p. 4, Mayo 2006.
- [31] J. Martín, “Analizadores de espectros. Tipos [II]. El analizador FFT,” *Denver Metrología Electrónica*, p. 4, Junio 2006.
- [32] D. de Instrumentación de Rohde & Schwarz España, “Filtros de resolución y factor de forma en analizadores de espectro,” *Denver Metrología Electrónica*, p. 3, Marzo 2003.